

Referências Bibliográficas

- [1] **On the power flux-density Limits to protect the fixed Service from HEO FSS Satellites Emissions in the 18 GHz Band Protection of FS receivers from the interference produced by HEO FSS satellites in the 18 GHz band: Effect of the roll-off characteristics of the HEO system satellite antenna beams.** International Journal of Satellite Communication and Networking, Finamore, A. C. and Fortes, J. M.
- [2] **On the power Flux-density Limits to protect the Fixed Service from HEO FSS Satellites Emissions in the 18 GHz Band.** International Journal of Satellite Communication and Networking, Fortes, J. M.
- [3] **Limits on the power flux density produced at the surface of the Earth by FSS satellites operating in the 4000 MHz band in HEO.** Doc. 4-9S/224, France contribution to ITU-R Working Party 4-9S, March 2002.
- [4] **Pfd limits to protect fixed service systems from FSS satellite networks using highly elliptical orbits.** Doc. 4-9S/224, France contribution to ITU-R Working Party 4-9S, March 2002.
- [5] **Maximum allowable values of power flux-density at the surface of the Earth produced by non-geostationary satellites in the Fixed-Satellite Service.** Doc. 4-9S/250, United States contribution to ITU-R Working Party 4-9S, March 2002.
- [6] **Determination of the maximum allowable pfd at the surface of the Earth produced by emissions of FSS HEO satellites in the 3.7-4.2 GHz band.** Doc. CPM02-2/38, Russian Federation contribution to ITU-R 2003 Conference Preparatory Meeting, November 2002.
- [7] **Power Flux density limits to protect the Fixed Service from HEO FSS satellites emissions in the 4, 11, 18, 38 and 40 GHz**

- bands.** Doc. CPM02-2/80, France contribution to ITU-R 2003 Conference Preparatory Meeting, November 2002.
- [8] **Power Flux density limits to protect the Fixed Service from HEO FSS satellites emissions in the 4, 11, and 18 GHz bands.** Doc. 4-9S/309, France contribution to ITU-R Working Party 4-9S, April 2003.
- [9] **Maximum allowable values of power flu-density at the surface of the Earth produced by non-geostationary satellites in the fixed-satellite service using highly elliptical orbits and operating in the 3700-4200 MHz and 10.7-12.7 GHz bands Shared with the fixed service.** Doc. 4-9S/318, United States Japan contribution to ITU-R Working Party 4-9S, April 2003.
- [10] **Limits on the power flux-density produced at the surface of the Earth by FSS satellites in HEO operating in the 4 GHz band.** Doc. 4-9S/331, Russian Federation contribution to ITU-R Working Party 4-9S, April 2003.
- [11] **Maximum permissible levels of interference in a satellite network (GSO/FSS; non-GSO/FSS; non-GSO/MSS feeder links) in the fixed-satellite service caused by other codirectional FSS networks below 30 GHz.** Recommendation ITU-R S.1323-2 - International Telecommunication Union, Geneva, 2002.
- [12] **Desempenho de enlaces de satélites em presença de chuvas e interferências externas: restrições a serem impostas ao comportamento estatístico das interferências.** Baptista, A. J. S. Dissertação de Mestrado, DEE PUC-Rio, 2007.
- [13] **Sobre as restrições impostas ao comportamento estatístico de interferências externas em enlaces via satélite, XVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações.** Baptista, A. J. S. Blumenau SC, Outubro 2009.
- [14] **A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization,** Computer Journal, Vol. 6, pp. 163-168, 1963. Fletcher, R. and M.J.D. Powell.
- [15] **Terrestrial and space services sharing frequency bands above 1 GHz.** União Internacional de Telecomunicações, Radio Regulations - Article 21.

- [16] **Space services.** União Internacional de Telecomunicações, Radio Regulations - Article 22.
- [17] **Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.618-7 - (1986-1990-1992-1994-1995-1997-1999-2001).
- [18] **Characteirstics of precipitation for propagation modelling.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.837-4 - (1992-1994-1999-2001-2003).
- [19] **Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.838-3 - (1992-1999-2003-2005).
- [20] **Rain height model for prediction methods.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.839-3 - (1992-1997-1999-2001).
- [21] **Maximum permissible levels of interference in a satellite network (GSO/FSS; non-GSO/FSS; non-GSO/MSS feeder links) for a hypothetical reference digital path in the fixed-satellite service caused by other codirectional FSS networks below 30 GHz.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R S.1323 - (1997).
- [22] **World Radiocommunication Conference.** Geneva, 2003.

A

Polinômios de Legendre

Os polinômios de Legendre deslocados ("shifted Legendre polynomials") $\tilde{P}_n(x)$ são definidos por

$$\tilde{P}_n(x) = (-1)^n \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \binom{n+k}{k} (-x)^k \quad (\text{A-1})$$

sendo que tais polinômios constituem uma base de funções ortogonais no intervalo $[0,1]$.

Os 11 primeiros polinômios de Legendre deslocados são:

$$\tilde{P}_0(x) = 1$$

$$\tilde{P}_1(x) = 2x - 1$$

$$\tilde{P}_2(x) = 6x^2 - 6x + 1$$

$$\tilde{P}_3(x) = 20x^3 - 30x^2 + 12x - 1$$

$$\tilde{P}_4(x) = 70x^4 - 140x^3 + 90x^2 - 20x + 1$$

$$\tilde{P}_5(x) = 252x^5 - 630x^4 + 560x^3 - 210x^2 + 30x - 1$$

$$\tilde{P}_6(x) = 924x^6 - 2772x^5 + 3150x^4 - 1680x^3 + 420x^2 - 42x + 1$$

$$\tilde{P}_7(x) = 3432x^7 - 12012x^6 + 16632x^5 - 11550x^4 + 4200x^3 - 756x^2 + 56x - 1$$

$$\begin{aligned} \tilde{P}_8(x) &= 12870x^8 - 51480x^7 + 84084x^6 - 72072x^5 + 34650x^4 - 9240x^3 + 1260x^2 \\ &\quad - 72x + 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{P}_9(x) &= 48620x^9 - 218790x^8 + 411840x^7 - 420420x^6 + 252252x^5 - 90090x^4 \\ &\quad + 18480x^3 - 1980x^2 + 90x - 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{10}(x) &= 184756x^{10} - 923780x^9 + 1969110x^8 - 2333760x^7 + 1681680x^6 - 756756x^5 \\ &\quad + 210210x^4 - 34320x^3 + 2970x^2 - 110x + 1 \end{aligned}$$

B

Procedimento para cálculo da distribuição cumulativa de atenuação por chuvas

O procedimento descrito a seguir está baseado na Recomendação ITU-R P.618-7 [17] e provê uma estimativa da estatística de longa duração da atenuação devida a chuvas de enlaces por satélite em uma dada região, para frequências até 55GHz. Os seguintes parâmetros são requeridos:

$R_{0.01}$: taxa de precipitação pluviométrica pontual para a região, para 0,01% de um ano médio (mm/h)

h_s : altitude da estação terrena acima do nível médio do mar (km)

θ : ângulo de elevação (graus)

φ : latitude da estação terrena (graus)

f : frequência (GHz)

R_e : raio efetivo da Terra (8500 km)

O cálculo é realizado segundo os seguintes passos:

Passo 1 : Determine a altura da chuva, h_R , conforme indicado na Recomendação ITU-R P.839 [20].

Passo 2 : Para $\theta \geq 5^\circ$ calcule o comprimento do lance, L_S , abaixo da altura da chuva, a partir de

$$L_S = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad km \quad (B-1)$$

Para $\theta < 5^\circ$, é utilizada a expressão

$$L_S = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{\frac{1}{2}} + \sin \theta} \quad km \quad (B-2)$$

Passo 3 : Calcule a projeção horizontal, L_G , do comprimento do lance, a partir de

$$L_G = L_S \cos \theta \quad km \quad (B-3)$$

Passo 4 : Obtenha a taxa de precipitação pluviométrica, $R_{0.01}$, excedida por 0,01% do ano médio (com um tempo de integração de 1 min). Se a

estatística de longa duração não puder ser obtida de uma fonte de dados local, uma estimativa pode ser obtida a partir dos mapas de taxa de precipitação pluviométrica apresentados na Recomendação ITU-R P.837 [18].

Passo 5 : Obtenha a atenuação específica, γ_R , usando os coeficientes dados na Recomendação ITU-R P.838 [19] e a taxa de precipitação pluviométrica, $R_{0.01}$, determinada no passo 4, utilizando

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad dB/km \quad (B-4)$$

Passo 6 : Calcule o fator de redução horizontal, $r_{0.01}$, para 0,01% do tempo

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38 (1 - e^{-2L_G})} \quad (B-5)$$

Passo 7 : Calcule o fator de ajuste vertical, $\nu_{0.01}$, para 0,01% do tempo

$$\zeta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_G r_{0.01}} \right) \quad \text{graus} \quad (B-6)$$

Se $\zeta > \theta$,

$$L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta} \quad km \quad (B-7)$$

Senão,

$$L_R = \frac{(h_R - h_S)}{\sin \theta} \quad km \quad (B-8)$$

Se $|\varphi| < 36^\circ$,

$$\chi = 36 - |\varphi| \quad \text{graus} \quad (B-9)$$

Senão,

$$\chi = 0 \quad \text{graus} \quad (B-10)$$

$$\nu_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31 (1 - e^{-(\theta/(1+\chi))}) \frac{\sqrt{L_G \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right)} \quad (B-11)$$

Passo 8 : O comprimento efetivo do lance é

$$L_E = L_R \nu_{0.01} \quad km \quad (B-12)$$

Passo 9 : A atenuação prevista excedida para 0,01% de um ano médio é obtida por

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \quad dB \quad (B-13)$$

Passo 10 : A atenuação estimada a ser excedida para outras percentagens de um ano médio, na faixa de 0,001% a 5%, é determinada a partir da atenuação a ser excedida para 0,01% de um ano médio:

Se $p \geq 1\%$ ou $|\varphi| \geq 36^\circ$:

$$\beta = 0 \quad (\text{B-14})$$

Se $p < 1\%$ e $|\varphi| < 36^\circ$ e $\theta \geq 25^\circ$:

$$\beta = -0,005(|\varphi| - 36) \quad (\text{B-15})$$

Senão:

$$\beta = -0,005(|\varphi| - 36) + 1,8 - 4,25 \sin \theta \quad (\text{B-16})$$

e temos então

$$A_p = A_{0,01} \left(\frac{p}{0,01} \right)^{-(0,655+0,033 \ln(p)-0,045 \ln(A_{0,01})-\beta(1-p) \sin \theta)} \quad dB \quad (\text{B-17})$$

C

Procedimento para obtenção de $(E_b/N_0)_{CS}$

Neste Apêndice é apresentado o procedimento para determinação da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ (Energia por bit/Nível espectral de ruído térmico em condições de céu claro) para um enlace, considerando-se somente a presença de chuvas.

Para garantir um desempenho adequado para o enlace, estabelecem-se, inicialmente, restrições para a taxa de erro de bit, limitando-se as percentagens de tempo durante as quais determinados níveis pré-estabelecidos de taxas de erro de bit podem ser excedidos. Estabelecem-se, portanto, pares formados, respectivamente, por Taxas de Erro de Bit $\{BER_j, j = 1, \dots, m\}$ e percentagens de tempo $\{p_j, j = 1, \dots, m\}$ que não poderão ser excedidas.

A dependência da Taxa de Erro de Bit (BER) com a razão E_b/N_0 (Energia por bit/Nível espectral de ruído térmico) é usualmente conhecida e dada pela curva de desempenho do MODEM utilizado. Pode-se, então, a partir desta curva de desempenho e do conjunto de pares $\{(BER_j, p_j) ; j = 1, \dots, m\}$, obter um outro conjunto de pares $\{((E_b/N_0)_j, p_j) ; j = 1, \dots, m\}$.

A Recomendação ITU-R S.1323 da International Telecommunication Union (ITU) [21], em seu Item 3.1, estabelece que para uma determinada rede de satélites, a interferência causada por emissões das demais redes de satélites que operem na mesma banda de frequências, deve ser responsável por, no máximo, 10% do tempo permitido para as Taxas de Erro de Bit (BER) especificadas nas metas de desempenho da rede considerada. Em decorrência desta recomendação, como é impossível prever interferências futuras, a degradação x devida à chuva não pode utilizar, mesmo em ambientes sem interferência, mais que 90% das percentagens de tempo associadas a cada nível de E_b/N_0 . Portanto, numa condição onde a degradação de desempenho seja atribuída apenas à chuva, devemos ter

$$1 - F_x \left(\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \right) \leq 0,9p_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-1)$$

ou ainda,

$$1 - F_x(z'_j) \leq 0,9p_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-2)$$

onde:

$$z'_j = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-3)$$

Obtido o conjunto de pares $\{((E_b/N_0)_j, p_j) ; j = 1, \dots, m\}$, conforme procedimento exposto anteriormente, e dada a curva de Distribuição Cumulativa de Probabilidade $P(x > X)$ da degradação x devida a chuvas, o cálculo da razão $(E_b/N_0)_{CS}$, é, então, realizado através dos seguintes passos:

- (i) Identificam-se, na curva de Distribuição Cumulativa de Probabilidade $P(x > X)$, os valores das degradações $z'_j ; j = 1, \dots, m$, correspondentes a 90% de cada um dos valores $p_j ; j = 1, \dots, m$ especificados.
- (ii) Os valores nominais $(E_b/N_0)_{CS}$ associados a cada $z'_j ; j = 1, \dots, m$, são obtidos por

$$\left(\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{CS} \right)_j = z'_j + \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-4)$$

- (iii) O valor nominal final $(E_b/N_0)_{CS}$ para o enlace será dado pelo maior dos valores calculados em (C-4), ou seja,

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{CS} = \max_j \left(z'_j + \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j \right) \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-5)$$

D

Alguns resultados particulares relativos à soma de variáveis aleatórias

Seja x a variável aleatória definida por

$$x = \sum_{k=0}^K x_k \quad (\text{D-1})$$

onde x_k representa uma variável aleatória com função densidade de probabilidade dada por

$$p_{x_k}(X) = A(X) + B(X) \quad ; \quad k = 1, \dots, K \quad (\text{D-2})$$

onde

$$A(X) = \sum_{i=0}^m \theta_i \delta(X - \gamma_i) \quad (\text{D-3})$$

e

$$B(X) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \phi_i(X) \quad (\text{D-4})$$

Considerando que as variáveis aleatórias $\{x_k; k = 1, \dots, K\}$ são estatisticamente independentes, tem-se

$$p_x(X) = p_{x_1}(X) * p_{x_2}(X) * \dots * p_{x_K}(V) \quad (\text{D-5})$$

tomando em consideração (D-2) e a expressão do Binômio de Newton, (D-5) se escreve

$$p_x(X) = \sum_{\ell=1}^K \binom{K}{\ell} A(X)^{[K-\ell]} * B(X)^{[\ell]} \quad (\text{D-6})$$

onde:

$$A(X)^{[K-\ell]} = \underbrace{A(X) * A(X) * A(X) * \dots * A(X)}_{K - \ell \text{ vezes}} \quad (\text{D-7})$$

e

$$B(X)^{[\ell]} = \underbrace{B(X) * B(X) * B(X) * \cdots * B(X)}_{\ell \text{ vezes}} \quad (\text{D-8})$$

e, por definição,

$$A(X)^{[0]} = B(X)^{[0]} = \delta(X) \quad (\text{D-9})$$

finalmente tem-se de (D-3), (D-4) e (D-6)

$$p_x(X) = \sum_{l=1}^K \binom{K}{\ell} \left\{ \left[\sum_{i=0}^m \theta_i \delta(V - \gamma_i) \right]^{[K-\ell]} * \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i \phi_i(V) \right]^{[\ell]} \right\} \quad (\text{D-10})$$